



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2002217488 A**(43) Date of publication of application: **02.08.02**

(51) Int. Cl.

H01S 5/0687**H01S 5/183****H01S 5/323****H01S 5/42**(21) Application number: **2001011577**(71) Applicant: **RICOH CO LTD**(22) Date of filing: **19.01.01**(72) Inventor: **JIKUTANI NAOTO**

(54) **ELEMENT AND SYSTEM OF SURFACE EMISSION LASER, WAVELENGTH ADJUSTING METHOD, SURFACE-EMITTING LASER ARRAY, OPTICAL INTERCONNECTION SYSTEM, AND LOCAL AREA NETWORK SYSTEM**

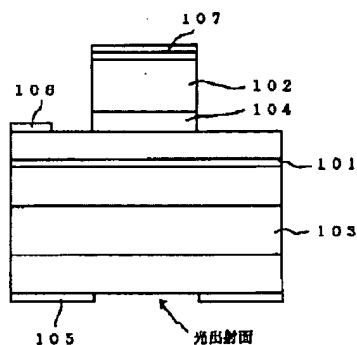
structure part 104, thereby varying the oscillation frequency.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a surface-emitting laser element which can suppress leakage of electrons in the well layer of a multi-quantum structural part, when electric field is applied and obtain large refractive index variations in a high electric field.

SOLUTION: This surface-emitting laser element is equipped with the multi- quantum well structure part 104 between an active layer 101 and a couple of distribution Bragg reflectors 102 and 103 facing each other across the active layer 101, and is provided with a pair (105, 106) of 1st electrodes for applying currents to the active layer 101 and a pair (106, 107) of 2nd electrodes for applying an electric field to the multi-quantum well structure part 104 independently of each other; and the electric field is applied to the multi-quantum well structure part 104 by the pair of the 2nd electrodes to vary the refractive index of the multi-quantum well



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-217488
(P2002-217488A)

(43) 公開日 平成14年8月2日(2002.8.2)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	サーチコード*(参考)
H 0 1 S	5/0687	H 0 1 S	5 F 0 7 3
	5/183		5/183
	5/323		5/323
	5/42		5/42

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 17 頁)

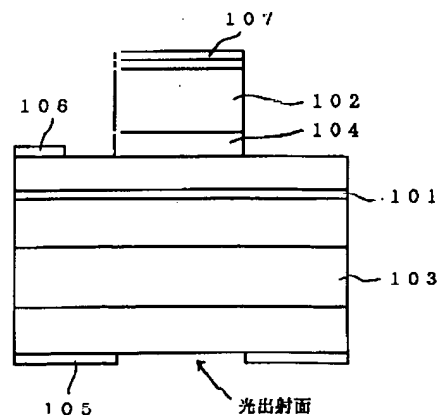
(21) 出願番号	特願2001-11577(P2001-11577)	(71) 出願人	000006747 株式会社リコー 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
(22) 出願日	平成13年1月19日(2001.1.19)	(72) 発明者	軸谷 直人 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式 会社リコー内
		(74) 代理人	100090240 弁理士 植本 雅治
		Fターム(参考)	5F073 AA61 AA75 AA77 AB02 AB04 AB17 BA02 CA07 CA17 EA03

(54) 【発明の名称】 面発光レーザ素子および面発光レーザシステムおよび波長調整方法および面発光レーザアレイおよび光インターコネクションシステムおよびローカルエリアネットワークシステム

(57) 【要約】

【課題】 電界印加時の多重量子井戸構造部の井戸層からの電子のリークを抑制し、高電界下にわたって大きな屈折率変化を得ることの可能な面発光レーザ素子を提供する。

【解決手段】 本発明の面発光レーザ素子は、活性層101と該活性層101を挟んで対向する一対の分布ブラッグ反射器102、103との間に多重量子井戸構造部104を備え、活性層101に電流を注入するための第1の電極の組(105、106)と多重量子井戸構造部104に電界を印加するための第2の電極の組(106、107)とがそれぞれ独立に設けられ、第2の電極の組(106、107)により多重量子井戸構造部104に電界を印加することによって多重量子井戸構造部104の屈折率を変化させ発振波長を可変にするものとなっている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層と該活性層を挟んで対向する一対の分布ブラッグ反射器との間に多重量子井戸構造部を備え、活性層に電流を注入するための第1の電極と多重量子井戸構造部に電界を印加するための第2の電極とがそれぞれ独立に設けられ、第2の電極により多重量子井戸構造部に電界を印加することによって多重量子井戸構造部の屈折率を変化させ発振波長を可変とする面発光レーザ素子であって、前記多重量子井戸構造部の井戸層の材料にはGaInNAs混晶が用いられることを特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項2】 活性層と該活性層を挟んで対向する一対の分布ブラッグ反射器との間に多重量子井戸構造部を備え、活性層に電流を注入するための第1の電極と多重量子井戸構造部に電界を印加するための第2の電極とがそれぞれ独立に設けられ、第2の電極により多重量子井戸構造部に電界を印加することによって多重量子井戸構造部の屈折率を変化させ発振波長を可変とする面発光レーザ素子であって、前記多重量子井戸構造部の井戸層は、第1の $Ga_{x_1}In_{1-x_1}N_{z_1}As_{1-z_1}$ ($0 < x_1 \leq 1$, $0 \leq z_1 \leq 1$) 層と第2の $Ga_{x_2}In_{1-x_2}N_{z_2}As_{1-z_2}$ ($0 < x_2 \leq 1$, $0 < z_2 \leq 1$) 層との組成の異なる2つの層により構成され、第1の $Ga_{x_1}In_{1-x_1}N_{z_1}As_{1-z_1}$ ($0 < x_1 \leq 1$, $0 \leq z_1 \leq 1$) 層は、第2の $Ga_{x_2}In_{1-x_2}N_{z_2}As_{1-z_2}$ ($0 < x_2 \leq 1$, $0 < z_2 \leq 1$) 層に比べて、伝導帯エネルギーおよび価電子帯エネルギーが高いことを特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項3】 請求項1または請求項2に記載の面発光レーザ素子において、多重量子井戸構造の障壁層には、II-VI族半導体材料が用いられることを特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項4】 請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子において、前記活性層には、GaInNAs半導体材料が用いられることを特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項5】 請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子において、前記活性層には、GaInNAsまたはGaInAs半導体材料からなる量子ドット構造が用いられることを特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項6】 活性層と該活性層を挟んで対向する一対の分布ブラッグ反射器との間に多重量子井戸構造部を備え、活性層に電流を注入するための第1の電極と多重量子井戸構造部に電界を印加するための第2の電極とがそれぞれ独立に設けられ、第2の電極により多重量子井戸構造部に電界を印加することによって多重量子井戸構造部の屈折率を変化させ発振波長を可変とする面発光レーザ素子と、前記面発光レーザ素子の発振波長を検出する発振波長検出手段とを有することを特徴とする面発光レーザシステム。

【請求項7】 請求項6記載の面発光レーザシステムにおいて、前記発振波長検出手段によって検出される発振波長が所望の発振波長となるように、面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部への印加電圧を調整する電圧調整手段がさらに設けられていることを特徴とする面発光レーザシステム。

【請求項8】 活性層と該活性層を挟んで対向する一対の分布ブラッグ反射器との間に多重量子井戸構造部を備え、活性層に電流を注入するための第1の電極と多重量子井戸構造部に電界を印加するための第2の電極とがそれぞれ独立に設けられ、第2の電極により多重量子井戸構造部に電界を印加することによって多重量子井戸構造部の屈折率を変化させ発振波長を可変とする面発光レーザ素子本体と、該面発光レーザ素子本体の光出射面とは反対の側の共振器外部に設けられ、該面発光レーザ素子本体の光出射面から入射し面発光レーザ素子本体を透過した発振波長付近の光を検出する光検出手段とを有していることを特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項9】 請求項8記載の面発光レーザ素子と、前記面発光レーザ素子の光出射面に、波長を掃引して単色光を入射させる光入射手段と、前記面発光レーザ素子の光出射面に光入射手段によって波長を掃引して単色光が入射され面発光レーザ素子を透過した発振波長付近の光が面発光レーザ素子の光検出手段で検出されるとき、光検出手段で検出された光の光量を検知する光量検知手段と、面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部に電圧を印加する電圧印加手段と、前記光量検知手段で検知された光の光量が最大となったときに、そのときの単色光の波長と面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部への印加電圧との関係を記憶する記憶手段とを有していることを特徴とする面発光レーザシステム。

【請求項10】 請求項9記載の面発光レーザシステムにおいて、面発光レーザ素子を所望の共振波長で発振させるときに、前記電圧印加手段は、記憶手段に記憶されている単色光の波長と面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部への印加電圧との関係に基づき、所望の共振波長に対応する面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部への印加電圧を記憶手段から割り出して面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部に印加するようになっていることを特徴とする面発光レーザシステム。

【請求項11】 請求項8記載の面発光レーザ素子の共振波長を調整する波長調整方法であって、面発光レーザ素子本体の多重量子井戸構造部に印加電圧を印加している状態で、面発光レーザ素子本体の光出射面から波長を連続的に変化させた単色光を入射させ、面発光レーザ素子本体を透過した単色光の光量を検出することによって面発光レーザ素子本体の共振器の共振波長を検知し、このときに多重量子井戸構造に印加されている印加電圧と検知された共振波長との関係を導出し、導出した印加電圧と共振波長との関係に基づき、印加電圧を調整して

共振波長を調整することを特徴とする波長調整方法。

【請求項12】 請求項1乃至請求項5、請求項8のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子が複数個、アレイ状に配列されていることを特徴とする面発光レーザアレイ。

【請求項13】 請求項1乃至請求項5、請求項8のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子、または、請求項6、請求項7、請求項9、請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザシステム、または、請求項12記載の面発光レーザアレイが用いられることを特徴とする光インターコネクションシステム。

【請求項14】 請求項1乃至請求項5、請求項8のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子、または、請求項6、請求項7、請求項9、請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザシステム、または、請求項12記載の面発光レーザアレイが用いられることを特徴とするローカルエリアネットワークシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、発振波長を変化させることの可能な面発光レーザ素子および面発光レーザシステムおよび波長調整方法および面発光レーザアレイおよび光インターコネクションシステムおよびローカルエリアネットワークシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】従来、半導体基板に対して、垂直にレーザ光を出射する面発光レーザ素子は、共振器体積が小さいことから、発振閾値電流が低く、高速変調が可能である。更に、ビーム広がり狭く、他の光学デバイスとの結合が良く、また、2次元アレイ化も容易であり、光伝送、光インターコネクションのアレイ光源としての期待が大きい。

【0003】また、近年、10Gbpsを超える光伝送速度を持つシステムとして、波長分割多重(WDM)通信が注目され研究、開発が行われている。現在、伝送速度10Gbpsのファーストギガビットイーサとして4波長のWDM通信が提案されており、将来的には更に波長分割数を増やしたシステムが必要とされる。このような波長分割多重通信では、微少な波長間隔で発振波長を制御する必要があり、波長可変機構を有する面発光レーザが必要と考えられる。

【0004】面発光レーザでは、共振器の光学長を変えることで、発振波長を変化させることができる。従来、共振器の光学長を変える代表的な方法として、次のものが案出されている。

【0005】例えば、文献「Appl. Phys. Lett. 62 1993 p. p. 219」では、共振器中にキャリア注入によるプラズマ効果によって屈折率を変化させる半導体層を設け、共振器の光学長を可変としている。

【0006】また、特開平6-188518号では、共振器中に多重量子井戸構造を設け、垂直電界印加によって屈折率を変化させ、共振器の光学長を可変としている。

【0007】また、特開平10-27943号では、マイクロマシンニング技術によって基板張り合わせ等の手法を用いて共振器中に空洞を作製し、静電力で機械的に空洞の厚さを制御し共振器長を変化させている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】キャリア注入によるプラズマ効果を用いる方法は、電気変調の中では屈折率を最も大きく変化させることが可能である。しかしながら、そのために必要な電流密度は大きく、消費電力が大きく、素子が発熱するという問題がある。

【0009】また、マイクロマシンニングにより機械的に変調を行う方式では、製造工程が煩雑であり、素子の歩留まり、信頼性に問題がある。

【0010】これに対し、多重量子井戸変調層を用いる場合には、電圧駆動型であるため必要な消費電力が小さく、また素子作製においても、結晶成長以外の屈折率変調領域を作り込むための特別な工程を必要としない。

【0011】多重量子井戸構造では、量子サイズ効果に基づく量子閉じ込めシュタルク効果によって、従来のバルクを用いた場合に比べて高効率の屈折率変調効果を得ることができる。この原理に基づく面発光レーザでは、十数nmの波長可変幅を得ることができる。多重量子井戸構造における屈折率変化は、垂直電界印加下での励起子吸収端の長波長シフトに起因した効果であり、印加電界が比較的大きくなく、井戸幅が広過ぎない場合には、井戸内のキャリアの準位には印加電界の2乗と井戸幅の4乗に比例したエネルギーの変化が起こり、これに起因して屈折率に変化が生じる。

【0012】また、井戸幅が厚すぎる場合には、量子効果及び励起子効果は薄れ、バルク特性に近づく。逆に、井戸幅が薄い場合には、もともと量子準位が高いことから、容易にキャリアリークを生じ、励起子が解離してしまう。

【0013】従って、量子井戸幅は量子効果が得られる限界程度に厚く、また、障壁層のエネルギー障壁は高電界下でのキャリアリークを抑制できる程度に高い必要がある。このように、屈折率の変化量は、多重量子井戸構造に大きく依存するものであり、高電界下にわたって大きな屈折率変化を得るためには、キャリア(特に電子)のリークを防ぐことが重要である。

【0014】本発明は、電界印加時の多重量子井戸構造部の井戸層からの電子のリークを抑制し、高電界下にわたって大きな屈折率変化を得ることの可能な面発光レーザ素子および面発光レーザシステムおよび波長調整方法および面発光レーザアレイおよび光インターコネクションシステムおよびローカルエリアネットワークシステム

を提供することを目的としている。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1記載の発明は、活性層と該活性層を挟んで対向する一対の分布ブラッグ反射器との間に多重量子井戸構造部を備え、活性層に電流を注入するための第1の電極と多重量子井戸構造部に電界を印加するための第2の電極とがそれぞれ独立に設けられ、第2の電極により多重量子井戸構造部に電界を印加することによって多重量子井戸構造部の屈折率を変化させ発振波長を可変とする面発光レーザ素子であって、前記多重量子井戸構造部の井戸層の材料にはGaInNAs混晶が用いられることを特徴としている。

【0016】また、請求項2記載の発明は、活性層と該活性層を挟んで対向する一対の分布ブラッグ反射器との間に多重量子井戸構造部を備え、活性層に電流を注入するための第1の電極と多重量子井戸構造部に電界を印加するための第2の電極とがそれぞれ独立に設けられ、第2の電極により多重量子井戸構造部に電界を印加することによって多重量子井戸構造部の屈折率を変化させ発振波長を可変とする面発光レーザ素子であって、前記多重量子井戸構造部の井戸層は、第1の $Ga_{x_1}In_{1-x_1}N_{z_1}As_{1-z_1}$ ($0 < x_1 \leq 1$, $0 \leq z_1 \leq 1$)層と第2の $Ga_{x_2}In_{1-x_2}N_{z_2}As_{1-z_2}$ ($0 < x_2 \leq 1$, $0 < z_2 \leq 1$)層との組成の異なる2つの層により構成され、第1の $Ga_{x_1}In_{1-x_1}N_{z_1}As_{1-z_1}$ ($0 < x_1 \leq 1$, $0 \leq z_1 \leq 1$)層は、第2の $Ga_{x_2}In_{1-x_2}N_{z_2}As_{1-z_2}$ ($0 < x_2 \leq 1$, $0 < z_2 \leq 1$)層に比べて、伝導帯エネルギーおよび価電子帯エネルギーが高いことを特徴としている。

【0017】また、請求項3記載の発明は、請求項1または請求項2に記載の面発光レーザ素子において、多重量子井戸構造の障壁層には、II-VI族半導体材料が用いられることを特徴としている。

【0018】また、請求項4記載の発明は、請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子において、前記活性層には、GaInNAs半導体材料が用いられることを特徴としている。

【0019】また、請求項5記載の発明は、請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子において、前記活性層には、GaInNAsまたはGaInAs半導体材料からなる量子ドット構造が用いられることを特徴としている。

【0020】また、請求項6記載の発明は、活性層と該活性層を挟んで対向する一対の分布ブラッグ反射器との間に多重量子井戸構造部を備え、活性層に電流を注入するための第1の電極と多重量子井戸構造部に電界を印加するための第2の電極とがそれぞれ独立に設けられ、第2の電極により多重量子井戸構造部に電界を印加することによって多重量子井戸構造部の屈折率を変化させ発振

波長を可変とする面発光レーザ素子と、前記面発光レーザ素子の発振波長を検出する発振波長検出手段とを有することを特徴としている。

【0021】また、請求項7記載の発明は、請求項6記載の面発光レーザシステムにおいて、前記発振波長検出手段によって検出される発振波長が所望の発振波長となるように、面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部への印加電圧を調整する電圧調整手段がさらに設けられていることを特徴としている。

【0022】また、請求項8記載の発明は、活性層と該活性層を挟んで対向する一対の分布ブラッグ反射器との間に多重量子井戸構造部を備え、活性層に電流を注入するための第1の電極と多重量子井戸構造部に電界を印加するための第2の電極とがそれぞれ独立に設けられ、第2の電極により多重量子井戸構造部に電界を印加することによって多重量子井戸構造部の屈折率を変化させ発振波長を可変とする面発光レーザ素子本体と、該面発光レーザ素子本体の光出射面とは反対の側の共振器外部に設けられ、該面発光レーザ素子本体の光出射面から入射し面発光レーザ素子本体を透過した発振波長付近の光を検出する光検出手段とを有していることを特徴としている。

【0023】また、請求項9記載の発明は、請求項8記載の面発光レーザ素子と、前記面発光レーザ素子の光出射面に、波長を掃引して単色光を入射させる光入射手段と、前記面発光レーザ素子の光出射面に光入射手段によって波長を掃引して単色光が入射され面発光レーザ素子を透過した発振波長付近の光が面発光レーザ素子の光検出手段で検出されるとき、光検出手段で検出された光の光量を検知する光量検知手段と、面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部に電圧を印加する電圧印加手段と、前記光量検知手段で検知された光の光量が最大となったときに、そのときの単色光の波長と面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部への印加電圧との関係を記憶する記憶手段とを有していることを特徴としている。

【0024】また、請求項10記載の発明は、請求項9記載の面発光レーザシステムにおいて、面発光レーザ素子を所望の共振波長で発振させるときに、前記電圧印加手段は、記憶手段に記憶されている単色光の波長と面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部への印加電圧との関係に基づき、所望の共振波長に対応する面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部への印加電圧を記憶手段から割り出して面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部に印加するようになっていることを特徴としている。

【0025】また、請求項11記載の発明は、請求項8記載の面発光レーザ素子の共振波長を調整する波長調整方法であって、面発光レーザ素子本体の多重量子井戸構造部に印加電圧を印加している状態で、面発光レーザ素子本体の光出射面から波長を連続的に変化させた単色光を入射させ、面発光レーザ素子本体を透過した単色光

の光量を検出することによって面発光レーザ素子本体の共振器の共振波長を検知し、このときに多重量子井戸構造に印加されている印加電圧と検知された共振波長との関係を導出し、導出した印加電圧と共振波長との関係に基づき、印加電圧を調整して共振波長を調整することを特徴としている。

【0026】また、請求項12記載の発明は、請求項1乃至請求項5、請求項8のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子が複数個、アレイ状に配列されていることを特徴としている。

【0027】また、請求項13記載の発明は、請求項1乃至請求項5、請求項8のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子、または、請求項6、請求項7、請求項9、請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザシステム、または、請求項12記載の面発光レーザアレイが用いられることを特徴とする光インターコネクションシステムである。

【0028】また、請求項14記載の発明は、請求項1乃至請求項5、請求項8のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子、または、請求項6、請求項7、請求項9、請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザシステム、または、請求項12記載の面発光レーザアレイが用いられることを特徴とするローカルエリアネットワークシステムである。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。図1は、本発明の面発光レーザ素子の一例を示す図である。図1の面発光レーザ素子は、活性層101と該活性層101を挟んで対向する一対の分布ブラッグ反射器102、103との間に多重量子井戸構造部104を備え、活性層101に電流を注入するための第1の電極の組(105、106)と多重量子井戸構造部104に電界を印加するための第2の電極の組(106、107)とがそれぞれ独立に設けられ、第2の電極の組(106、107)により多重量子井戸構造部104に電界を印加することによって多重量子井戸構造部104の屈折率を変化させ共振波長を可変にするものとなっている。

【0030】第1の実施形態

本発明の第1の実施形態は、図1のような面発光レーザ素子において、多重量子井戸構造部104の井戸層の材料にはGaInNAs混晶が用いられることを特徴としている。すなわち、第1の実施形態の面発光レーザ素子では、電界印加によって屈折率変調を行う多重量子井戸構造部104の井戸層の半導体材料にGaInNAs混晶を用いている。

【0031】GaInNAs混晶は、窒素添加によって主に伝導帯側のエネルギーが大きく減少しており、GaAs等の半導体層とのヘテロ接合界面で大きな伝導帯バンド不連続量が得られる。これによって、多重量子井戸

構造の伝導帯側の電子閉じ込めを向上させることができ、従来のInGaAs/GaAs等による多重量子井戸構造と比べ、高電界印加下まで電子のリークを抑制することができる。

【0032】第2の実施形態

また、本発明の第2の実施形態は、図1のような面発光レーザ素子において、多重量子井戸構造部104の井戸層は、第1の $Ga_{x_1}In_{1-x_1}N_{z_1}As_{1-z_1}$ ($0 < x_1 \leq 1$, $0 \leq z_1 \leq 1$)層と第2の $Ga_{x_2}In_{1-x_2}N_{z_2}As_{1-z_2}$ ($0 < x_2 \leq 1$, $0 < z_2 \leq 1$)層との組成の異なる2つの層により構成され、第1の $Ga_{x_1}In_{1-x_1}N_{z_1}As_{1-z_1}$ ($0 < x_1 \leq 1$, $0 \leq z_1 \leq 1$)層は、第2の $Ga_{x_2}In_{1-x_2}N_{z_2}As_{1-z_2}$ ($0 < x_2 \leq 1$, $0 < z_2 \leq 1$)層に比べて、伝導帯エネルギーおよび価電子帯エネルギーが高いことを特徴としている。

【0033】すなわち、第2の実施形態の面発光レーザ素子では、電界印加によって屈折率変調を行う多重量子井戸構造部104の井戸層に、組成の異なるGaInNAs層を用いて、スタガード型バンド構造を持つ量子井戸としている。図2(a)には無電界時のスタガード型量子井戸構造のバンドが示されている。図2(a)を参照すると、厚さd1のGaInNAs層と組成の異なる厚さd2のGaInNAs層とによって井戸部が構成されている。スタガード型量子井戸層を図2(b)のようにバイアスすると、電界印加の初期では、電子及びホールは、それぞれ厚さd1、d2のGaInNAs層によって形成された量子井戸による閉じ込めの影響を受け、量子準位の変化が大きい。従って、電界印加の初期において大きな屈折率変化が得られる。すなわち、スタガード型量子井戸構造では、電界印加初期の実効的な井戸幅を狭くすることができるので、小さな電界によって大きな屈折率変化が得られる。また、閉じ込め効果を大きくするために井戸幅を狭くしなくとも良いので、必要以上に量子準位を高くすることはなく、高電界下までキャリアリークを生じることはない。

【0034】このようなスタガード型接合を得ることは、従来、材料的に困難であったが、GaInNAs混晶では伝導帯エネルギー及び価電子帯のエネルギーを窒素添加量によって制御することができることから作製が容易になる。窒素添加により、伝導帯及び価電子帯のエネルギーを減少させることができるためである。従って、一方のGaInNAs混晶の窒素添加量を増加させ、Ga組成によって禁則帯幅が他方のGaInNAs混晶と同程度になるように調整すると、スタガード型量子井戸構造が容易に得られる。すなわち、井戸材料にGaInNAsを用いると、窒素添加量を制御することで容易にスタガード型量子井戸構造を作製できる。

【0035】このように、第2の実施形態の面発光レーザ素子の多重量子井戸構造では、特に低電界の印加時での屈折率変化率が大きく、従来よりも低いバイアス電圧

で大きな屈折率変化を得ることができ、これによって動作電圧が低減された波長可変面発光レーザ素子が得られる。

【0036】第3の実施形態

本発明の第3の実施形態は、図1のような面発光レーザ素子（さらには、第1、または、第2の実施形態の面発光レーザ素子）において、多重量子井戸構造部104の障壁層には、II-VI族半導体材料が用いられることを特徴としている。II-VI族混晶は、III-V族混晶と比べて禁則帯幅が広く、ポテンシャルの深い多重量子井戸構造を得ることができる。例えばGaAs基板上に格子整合する $ZnS_{0.06}Se_{0.94}$ では2.6 eV以上の禁則帯幅が得られ、 $Cd_{0.58}Zn_{0.42}S$ では2.8 eV以上の禁則帯幅が得られ、 $MnS_{0.88}Se_{0.12}$ では4.4 eV以上の禁則帯幅が得られる。このようなII-VI族混晶半導体を多重量子井戸構造の障壁層として用いると、キャリアの閉じ込めが非常に強く、高電界印加下においても井戸からのキャリア（例えば電子）のリークを効果的に抑制でき、これによって、高電界印加下にわたって大きな屈折率変化量が得られ、波長可変量の大きな面発光レーザ素子が得られる。

【0037】図1の面発光レーザ素子（さらには、第1乃至第3の実施形態の面発光レーザ素子）において、活性層101には、GaInNAs半導体材料を用いることができる。GaInNAs混晶を活性層101の材料にすると、GaAs基板上において、 $0.9\mu m$ よりも長波長帯での発振（ $1.3\mu m$ 帯、 $1.55\mu m$ 帯、更にこれより長波長帯での発振）が得られる。特に、 $1.3\mu m$ 帯で発振するレーザ素子と石英ファイバとを用いることで、高速通信が可能となる。更に、この面発光レーザ素子のスペーサー層を（A1）GaAsスペーサー層とすると、GaInNAs混晶と（A1）GaAsスペーサー層との伝導帯バンド不連続量が大きいので、活性層101からの電子のオーバーフローが抑制され、無効電流及び素子発熱が低減し、温度上昇による波長変動を減少させることができる（発振無効電流が減少し低閾値化とともに、素子温度の上昇が抑制される）。例えば、文献「第47回応用物理学関係連合講演会予稿集31a-N-10」では、 $1.3\mu m$ 帯の端面型レーザにおいて発振波長の微分温度変化率が $0.39 nm/K$ 、禁則帯幅の温度変化率が $0.42 nm/K$ と従来のInGaAsP材料に比べて半分程度の値であることが報告されている。従って、GaInNAs混晶を活性層にも用いた場合、発振波長の変動を最小限に留めることが可能となる。これによって、素子の駆動状態、動作環境温度等の変化に対する多重量子井戸構造のバイアス電圧制御が簡単になる。

【0038】あるいは、上記活性層101には、GaInNAsまたはGaInAs半導体材料からなる量子ドット構造を用いることができる。GaInNAsまたは

GaInAs量子ドット構造を活性層101に用いるときには、GaAs基板上において、 $1.2\mu m$ 帯から $1.55\mu m$ 帯の発振波長が得られる。更に、量子サイズ効果によって閾値電流、動作電流が低くなり、素子発熱が低減し、温度上昇による波長変動を減少させることができる。

【0039】第4の実施形態

図3は本発明の第4の実施形態（面発光レーザシステム）の構成例を示す図である。図3を参照すると、この面発光レーザシステムは、活性層101と該活性層101を挟んで対向する一対の分布ブラッグ反射器102、103との間に多重量子井戸構造部104を備え、活性層101に電流を注入するための第1の電極の組（105、106）と多重量子井戸構造部104に電界を印加するための第2の電極の組（106、107）とがそれぞれ独立に設けられ、第2の電極の組（106、107）により多重量子井戸構造部104に電界を印加することによって多重量子井戸構造部104の屈折率を変化させ発振波長を可変とする面発光レーザ素子110と、面発光レーザ素子110の発振波長を検出する発振波長検出手段120とを有している。なお、図3では、面発光レーザ素子110として、基板側から光を取り出す構造をもったものが例として示されている。

【0040】この面発光レーザシステムでは、面発光レーザ素子110の発振波長を検出する発振波長検出手段120が設けられていることにより、検出される発振波長が所望の発振波長となるように、面発光レーザ素子110の多重量子井戸構造部104への印加電圧（バイアス電圧）を調整することができる。

【0041】図4は本発明に係る面発光レーザシステムの他の構成例を示す図である。図4の面発光レーザシステムでは、図3の面発光レーザシステムにおいて、発振波長検出手段120によって検出される発振波長が所望の発振波長となるように、面発光レーザ素子110の多重量子井戸構造部104への印加電圧を調整する電圧調整手段130がさらに設けられている。面発光レーザ素子110の多重量子井戸構造部104への印加電圧を調整する電圧調整手段130がさらに設けられていることにより、面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部への印加電圧（バイアス電圧）の調整が自動的になされる。

【0042】第5の実施形態

図5は本発明の第5の実施形態（面発光レーザ素子）の構成例を示す図である。図5を参照すると、この面発光レーザ素子は、活性層101と該活性層101を挟んで対向する一対の分布ブラッグ反射器102、103との間に多重量子井戸構造部104を備え、活性層101に電流を注入するための第1の電極の組（105、106）と多重量子井戸構造部104に電界を印加するための第2の電極の組（106、107）とがそれぞれ独立に設けられ、第2の電極の組（106、107）により

多重量子井戸構造部104に電界を印加することによって多重量子井戸構造部104の屈折率を変化させ発振波長を可変とする面発光レーザ素子本体110と、該面発光レーザ素子本体110の光出射面とは反対側の共振器外部に設けられ、該面発光レーザ素子本体110の光出射面から入射し面発光レーザ素子本体を透過した発振波長付近の光を検出する光検出手段111とを有している。

【0043】ここで、光検出手段111には、光検出層や光検出器等を用いることができる。

【0044】このように面発光レーザ素子本体110の光出射面とは反対側の共振器外部に、面発光レーザ素子本体110の光出射面から入射し面発光レーザ素子本体を透過した発振波長付近の光を検出する光検出手段111を有しているときには、共振器から発せられる光強度、または、共振器の透過特性等の共振器構造に関する光学情報を光検出手段111によって検出することができる。

【0045】第6の実施形態

図6は、本発明の第6の実施形態（面発光レーザシステム）の構成例を示す図である。図6を参照すると、第6の実施形態の面発光レーザシステムは、第5の実施形態の面発光レーザ素子（図5の面発光レーザ素子）と、面発光レーザ素子の光出射面に、波長を掃引して単色光を入射させる光入射手段140と、面発光レーザ素子の光出射面に光入射手段140によって波長を掃引して単色光を入射させ面発光レーザ素子（素子本体110）を透過した発振波長付近の光が面発光レーザ素子の光検出手段111で検出されるとき、光検出手段111で検出された光の光量を検知する光量検知手段141と、面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部104に電圧を印加する電圧印加手段142と、光量検知手段141で検知された光の光量が最大となったときに、そのときの単色光の波長と面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部104への印加電圧との関係を記憶する記憶手段143とを有している。

【0046】図6の面発光レーザシステムでは、面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部104に印加電圧を印加している状態で、面発光レーザ素子の光出射面に光入射手段140によって波長を掃引して単色光を入射させ、面発光レーザ素子を透過した発振波長付近の光を面発光レーザ素子の光検出手段111で検出させ、光検出手段で検出された光の光量を光量検知手段141で検知する。そして、光量検知手段141で検知された光の光量が最大となったときに、そのときの単色光の波長と面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部104への印加電圧との関係を記憶手段143に記憶する。そして、記憶手段143に記憶されている単色光の波長と面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部104への印加電圧との関係に基づいて、所望の共振波長となるよう、電圧印加手

段142によって、面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部104への印加電圧を調節することができる。

【0047】また、図7は第6の実施形態の面発光レーザシステムの他の構成例を示す図である。図7の面発光レーザシステムでは、図6の面発光レーザシステムにおいて、面発光レーザ素子を所望の共振波長で発振させるときに、電圧印加手段142は、所望の共振波長に対応する面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部104への印加電圧を記憶手段143から自動的に割り出して面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部104に印加するようになっている。

【0048】図7の面発光レーザシステムでは、電圧印加手段142は、所望の共振波長に対応する面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部104への印加電圧を記憶手段143から割り出して面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部104に印加するようになっているので、面発光レーザ素子本体が所望の共振波長で発振するように、印加電圧を自動調節することができる。

【0049】このように、第6の実施形態の面発光レーザシステムでは、面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部104に印加電圧を印加している状態で、面発光レーザ素子本体110の光出射面から波長を連続的に変化させた単色光を入射させ、面発光レーザ素子本体110内を透過した単色光の光量を検出することによって面発光レーザ素子本体110の共振器の共振波長（単色光の入射波長）を検知し、このときに多重量子井戸構造部104に印加されている印加電圧と検知された共振波長（単色光の入射波長）との関係を導出し、導出した印加電圧と共振波長との関係に基づき印加電圧を調整して、共振波長を調整することができる。

【0050】また、レーザ動作時の熱による波長変化は、実際の駆動条件に近いパルスによって素子を駆動し、注入電流と光検出電流の同期を取って、非電流注入時の透過光を検出する事で、動作温度に対して較正（調整）を加えることができる。この方法では、面発光レーザアレイに対しても一括にコリメートされた単色光を入射させるのみで良いので、光学的なアライメントをほとんど必要としない。また、面発光レーザ素子の共振器長に関する情報を、受光部を流れる光電流として電気的に検出することができるので、集積数の多い面発光レーザアレイに対しても容易にかつ並列に検査が行える。

【0051】換言すれば、第6の実施形態の面発光レーザシステムでは、面発光レーザ素子本体110の光出射面に、単色光を波長を連続的に変化させて入射し、光出射面とは反対側の共振器端面に設けた光検出手段111を用いて、透過光を検出し、共振波長を調べ、このときの多重量子井戸構造への印加電圧と、透過光が検出された時の入射波長とから、面発光レーザ素子の駆動条件を調整する構成となっているので、簡便に、一括した駆動条件の調整を行なうことができる。

【0052】第7の実施形態

本発明の第7の実施形態は、上述した第1、第2、第3または第5の実施形態の面発光レーザ素子が用いられている面発光レーザアレイであり、この第7の実施形態では、2次元集積可能な波長可変面発光レーザアレイを提供することができる。

【0053】第8の実施形態

また、本発明の第8の実施形態は、上述した第1、第2、第3または第5の実施形態の面発光レーザ素子、または、第4または第6の実施形態の面発光レーザシステム、または、第7の実施形態の面発光レーザアレイが用いられる光インターコネクションシステムであり、この第8の実施形態では、用いることのできる波長帯域幅が広い、波長分割多重(WDM)を用いた光インターコネクションシステムを容易に提供することができる。

【0054】第9の実施形態

また、本発明の第9の実施形態は、上述した第1、第2、第3または第5の実施形態の面発光レーザ素子、または、第4または第6の実施形態の面発光レーザシステム、または、第7の実施形態の面発光レーザアレイが用いられるローカルエリアネットワーク(LAN)システムであり、この第9の実施形態では、用いることのできる波長帯域幅が広い、波長分割多重(WDM)を用いた光LANシステムを容易に提供することができる。

【0055】

【実施例】実施例1

図8は実施例1の面発光レーザ素子の具体的な構成例を示す図である。図8を参照すると、実施例1の面発光レーザ素子は、n-GaAs基板2上に、AlAs/GaAsの35ベアの積層構造からなるn-DBR(分布ブラッグ反射器)3と、アンドープGaAsスペーサー層4と、GaInNAs/GaAsMQW活性層5と、アンドープGaAsスペーサー層6と、p-AlAs層7と、p-GaAsコンタクト層9と、屈折率変調のためのGaInNAs/GaAsによる多重量子井戸構造部11と、Al_{0.8}Ga_{0.2}As/GaAsの25ベアの積層構造からなるアンドープDBR12と、p-GaAsコンタクト層13とが順次積層されている。そして、n-GaAs基板2の裏面にはn電極1が形成され、また、p-GaAsコンタクト層9上にはp電極10が形成され、また、p-GaAsコンタクト層13上にはp電極14が形成されている。

【0056】なお、実施例1では、活性層5としてGaInNAs/GaAs混晶からなる3重量子井戸活性層を用いた。このとき、活性層5のGaInNAs層の厚さを7nmとし、また、活性層5のGaAs層の厚さを15nmとした。GaInNAs混晶のIn組成は0.3とした。

【0057】また、p-GaAsコンタクト層9、13の厚さをそれぞれ100nmとし、AlAs層7の厚さ

を30nmとして、GaAsスペーサー層4、6、活性層5、コンタクト層9、及び多重量子井戸構造部11からなる共振領域の厚さを、活性層5が共振領域の中心に位置し、2波長共振器を構成するように調整した。

【0058】また、アンドープDBR12のAl_{0.8}Ga_{0.2}As層の厚さを108nmとし、アンドープDBR12のGaAs層の厚さを95nmとした。また、n-DBR3のAlAs層の厚さを112nmとし、n-DBR3のGaAs層の厚さを95nmとした。

【0059】また、多重量子井戸構造部11は、AlGaAs障壁層の厚さを10nm、GaInNAs井戸層の厚さを10nmとし、18層積層した。また、多重量子井戸構造部11の無バイアス状態での量子準位間のエネルギーは、光吸収を防ぐために、発振光のエネルギーに対して60meV以上高エネルギーとなるようにした。

【0060】図8の面発光レーザ素子は、次のような工程によって作製される。すなわち、まず、MOCVD法によって、n-GaAs基板2上に、AlAs/GaAsの35ベアの積層構造からなるn-DBR(分布ブラッグ反射器)3と、アンドープGaAsスペーサー層4と、GaInNAs/GaAsMQW活性層5と、アンドープGaAsスペーサー層6と、p-AlAs層7と、p-GaAsコンタクト層9と、屈折率変調のためのGaInNAs/GaAsによる多重量子井戸構造部11と、Al_{0.8}Ga_{0.2}As/GaAsの25ベアの積層構造からなるアンドープDBR12と、p-GaAsコンタクト層13とを順次に積層する。

【0061】しかる後、写真製版によってポスト状(円柱状)のレジストパターンを形成し、ドライエッチングにより、p-GaAsコンタクト層13からp-GaAsコンタクト層9までの各層をポスト状(円柱状)にエッチング除去する。次に、レジストを除去した後、再びレジストパターンを形成して、コンタクト層9、AlAs層7のエッチング除去を順次に行なう。次に、加熱水蒸気雰囲気中でAlAs層7の選択酸化を行い、コンタクト層9下に、選択酸化領域8による電流狭窄を兼ねた単一横モード制御構造を形成する。次に、p電極10、p電極14を、それぞれ、レジストのリフトオフ法を用いて形成し、基板2の裏面に、光出力を取り出すための開口(光出射部用の開口)を有するn電極1を形成する。

【0062】図8の面発光レーザ素子では、p電極10とn電極1との間に順バイアス電圧を印加することで、活性層5へ電流注入を行い、また、p電極14とp電極10との間に電圧を印加することによって多重量子井戸構造部11への電界印加(電圧印加)を行うことができる。

【0063】実施例1では、屈折率変調を行う多重量子井戸構造部11の材料にGaInNAs/GaAs混晶

が用いられることにより、伝導帯バンド不連続量が増加し、電子のリークを抑制することができる。これによって、高電界印加下にわたって大きな屈折率変化が得られ、波長可変幅は、従来の面発光レーザ素子に比べて大きいものとなる。また、多重量子井戸構造部11の井戸層材料をGaInNAs混晶とすることによって、多重量子井戸構造部11の格子歪量を従来に比べて低減することができる。これによって、数 μm 厚のDBR層（分布ブラッグ反射器）の結晶成長を行った後でも、素子表面状態は良好であり、格子欠陥の発生、素子特性の劣化を抑制できる。

【0064】また、実施例1では、活性層5にGaInNAs混晶を用いることによって、活性層5からのキャリアオーバーフローが低減し、発振閾値電流および素子発熱を低減できる。これによって、温度による波長変化が少なく、波長制御が容易となる。

【0065】実施例2

図9は実施例2の面発光レーザ素子の具体的な構成例を示す図である。図9を参照すると、実施例2の面発光レーザ素子は、n-GaAs基板22上に、AlAs/GaAsの35ペアの積層構造からなるn-DBR23と、屈折率変調のためのGaInNAs/GaAsによる多重量子井戸構造部24と、p-GaAsコンタクト層25と、アンドープGaAsスペーサー層27と、GaInNAs/GaAsMQW活性層28と、アンドープGaAsスペーサー層29と、p-AlAs層30と、 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ /GaAsの25ペアによるアンドープDBR32と、p-GaAsコンタクト層33とが順次積層されている。そして、n-GaAs基板22の裏面にはn電極21が形成され、また、p-GaAsコンタクト層25上にはn電極26が形成され、また、p-GaAsコンタクト層33上にはp電極34が形成されている。

【0066】ここで、実施例2の面発光レーザ素子（図9の面発光レーザ素子）では、電界印加によって屈折率を変化させるための多重量子井戸構造部24の井戸層が、組成の異なる2つのGaInNAs層で構成されている。

【0067】なお、実施例2の面発光レーザ素子において、共振器構造及びDBR構造は実施例1の面発光レーザ素子と同様である。

【0068】また、実施例2の面発光レーザ素子において、多重量子井戸構造部24は、GaAs障壁層の厚さを10nmとした。また、多重量子井戸構造部24の井戸層を構成する2種のGaInNAs層の厚さは、それぞれ5nmとした。また、井戸層を構成する2種のGaInNAs層は、窒素(N)およびIn組成の調整によって、同じ禁則帯幅となるようにし、一方のGaInNAs層の伝導帯エネルギーが他方の伝導帯エネルギーに比べて、30meV程度低くなるようにした。

【0069】窒素を添加した場合には、禁則帯幅が減少するとともに、伝導帯および価電子帯のエネルギーが低下し、格子定数は小さくなる。一方、In組成を大きくした場合には、禁則帯幅が減少するとともに、伝導帯のエネルギーが低下し、価電子帯のエネルギーは増加し、また、格子定数は大きくなる。従って、窒素およびIn組成を調整することによって、自由度の高い設計が可能となる。

【0070】また、多重量子井戸構造部24全体の量子準位間のエネルギーは、発振光のエネルギーに対して60meV以上高エネルギーとなるようにした。

【0071】図9の面発光レーザ素子は、次のような工程によって作製される。すなわち、まず、MOCVD法によって、n-GaAs基板22上に、AlAs/GaAsの35ペアの積層構造からなるn-DBR23と、屈折率変調のためのGaInNAs/GaAsによる多重量子井戸構造部24と、p-GaAsコンタクト層25と、アンドープGaAsスペーサー層27と、GaInNAs/GaAsMQW活性層28と、アンドープGaAsスペーサー層29と、p-AlAs層30と、 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ /GaAsの25ペアによるアンドープDBR32と、p-GaAsコンタクト層33とを順次に積層する。しかる後、図8の面発光レーザ素子と同様に、ドライエッチングによって、p-GaAsコンタクト層25上までの各層をポスト状にエッチング除去し、加熱水蒸気雰囲気中でAlAs層30の選択酸化を行い、選択酸化領域31による電流狭窄を兼ねた単一横モード制御構造を設ける。次に、n電極26、p電極34を順次形成し、基板22の裏面に光出射部用の開口を有するn電極21を形成する。

【0072】図9の面発光レーザ素子では、p電極34とn電極26との間にバイアス電圧を印加することによって、活性層28へ電流注入を行ない、また、n電極21とn電極26との間に電圧を印加することによって多重量子井戸構造部24への電界印加（電圧印加）を行なうことができる。

【0073】実施例2の面発光レーザ素子では、多重量子井戸構造部24を活性層28とn-DBR23との間に設けるので、エッチング工程は一回でよく、製造が容易になる。

【0074】また、実施例2の面発光レーザ素子では、多重量子井戸構造部24の井戸層を、組成の異なる2種のGaInNAs混晶によるスタガード構造としていることによって、同じ井戸幅および井戸数を持った単一組成による方形ポテンシャル量子井戸構造と比較して、多重量子井戸構造への同じ印加電圧に対して発振波長の変化量が大きく、低電圧動作させることができる。また、波長の可変幅も広がる。

【0075】なお、実施例2では、Gaおよび窒素(N)組成の両方を調整し、同じ禁則帯幅を有するGa

InNAs 混晶によってスタガード構造量子井戸を構成したが、この他にも、それぞれのGaInNAs 層の禁則帯幅は異なっているが、また、また窒素組成のみの調整によって作製されたものでもよい。

【0076】また、実施例2の面発光レーザ素子においても、実施例1と同様に、活性層にGaInNAs 混晶を用いることによって、活性層からのキャリアオーバーフローが低減し、発振閾値電流および素子発熱を低減できる。これによって、温度による波長変化が少なく、波長制御が容易となる。

【0077】実施例3

図10は実施例3の面発光レーザ素子の具体的な構成例を示す図である。なお、図10の例では、素子の基本的な構造は図8の素子と同じとなっており、図10において、図8と対応する箇所には同じ符号を付している。

【0078】実施例3の面発光レーザ素子では、多重量子井戸構造部11の障壁層をII-VI族混晶半導体である $Cd_{0.58}Zn_{0.42}S$ とし、井戸層の材料をGaInNAs としている。また、活性層5には、SKモードで結晶成長を行ったGaInAs 量子ドットを用いている。共振器構造及びDBR構造は実施例1と同様である。多重量子井戸構造11の結晶成長時には、成長温度を可能な限り低温とし、ヘテロ接合面での相互拡散を抑制した。

【0079】図10の面発光レーザ素子は、次のような工程によって作製される。すなわち、図8の面発光レーザ素子と同様に、結晶成長、および、加工、電極形成を行なう。しかる後、素子全面に SiO_2 等の絶縁膜15を形成し、電極部分の絶縁膜除去を行なう。この後、導電性樹脂16をスピンコートし、ポスト部分の埋め込みを行なう。これによって、電極パターンが形成されたサブマウント上などへ、例えば半田のリフロー等を用いp 電極面を下にして容易に実装することができる。

【0080】実施例3の面発光レーザ素子では、多重量子井戸構造部11の障壁層に $Cd_{0.58}Zn_{0.42}S$ 等のII-VI族混晶半導体を用いることで、高電界の印加下まで波長変化が得られ、またその変化量も大きい。また、実施例3の面発光レーザ素子は、活性層5を量子ドット構造とすることで、量子サイズ効果によって発振閾値電流、及び素子発熱を低減させることができる。これによって、温度による波長変化が少なく、波長制御が容易となる。

【0081】実施例4

図11は実施例4の面発光レーザシステムの具体的な構成例を示す図である。図11の面発光レーザシステムは、第4の実施形態の面発光レーザシステムの具体例となっている。すなわち、図11の面発光レーザシステムは、第1、第2または第3の実施形態の面発光レーザ素子110と、面発光レーザ素子110の発振状態光の波長を検出し、面発光レーザ素子110の発振波長が所望の発振波長になるように、面発光レーザ素子の多重量子

井戸構造への印加電圧を調整するバイアス制御回路42とを有しており、バイアス制御回路42によって面発光レーザ素子110の発振波長制御を動的に行なうようになっている。このことからわかるように、バイアス制御回路42は、第4の実施形態の発振波長検出手段120と電圧調節手段130との機能を具備したものとなっている。

【0082】図11の面発光レーザシステムによれば、動作状態に応じてバイアス電圧を変化させることができるので、波長可変幅が広く波長安定性の高い、第1、第2または第3の実施形態の面発光レーザ素子を用いたレーザシステムを提供することができる。

【0083】実施例5

図12は実施例5の面発光レーザ素子の具体的な構成例を示す図である。なお、図12の例では、素子の基本的な構造は図8、図10の素子と同じとなっており、図12において、図8、図10と対応する箇所には同じ符号を付している。

【0084】図12の面発光レーザ素子は、面発光レーザ素子本体が図10の面発光レーザ素子と同様のものとなっており、図10の面発光レーザ素子のp-GaAs コンタクト層13上に、第5の実施形態の光検出手段111としてのpinダイオード17が形成され、pinダイオード17上に、n-GaAs コンタクト層18、n電極19が形成されたものとなっている。

【0085】実施例5の面発光レーザ素子は、実施例1、実施例3と同様の手順によってp-GaAs コンタクト層13までを実施例1と同様に結晶成長し、次に、GaInNAs 材料からなるpinダイオード17、n-GaAs コンタクト層18の結晶成長を行い、実施例1、実施例3と同様の手法を用いてポスト形成、選択酸化、電極形成を行なう。この面発光レーザ素子の光出射面は基板2側であり、pinダイオード17は光出射面とは反対側の共振器端部に設けられている。また、pinダイオード17上には、pinダイオード17に独立に電圧を印加するためのn電極19が設けられている。

【0086】実施例5の面発光レーザ素子は、n電極1、p電極10を順バイアスして活性層5へ電流注入を行なうことができ、また、p電極10及びp電極14によって多重量子井戸構造部11に電界を印加して屈折率を変化させることができ、また、p電極14及びn電極19によってpinダイオード17を逆バイアスして光検出を行なうことができる。

【0087】図12の面発光レーザ素子では、発振時の光出力、及び、素子の光透過特性などをモニタすることが可能である。また、pinダイオード17の材料としては、発振波長帯に対して受光感度を持つものであれば良く、この他のものを用いても良い。また、上述の例では、面発光レーザ素子本体上に結晶成長によって光検出

手段111を作製したが、この他にも、面発光レーザ素子本体に張り合わせや接着などによって光検出手段111となる他の電子部品を設けたものでも良い。

【0088】実施例5の面発光レーザ素子では、面発光レーザ素子の光射出面から単色光を入射させ波長を掃引することで、反対側の共振器端面に設けた光検出手段111（図12の例では、pinダイオード17）により共振器の透過特性が得られ、共振波長を調べることができる。この時の多重量子井戸構造への印加印加電圧、素子温度等の情報を共振波長とともにフラッシュメモリ等の記憶手段に記憶させておくことで、素子毎に発振時に必要なバイアス設定（印加電圧設定）を行うことができる。このようにして波長調整がなされた面発光レーザ素子は、高い精度で波長を選択することができる。また、波長調整に必要なデータは、アレイ一括に電氣的に得られるので、高精度の光学アライメントが不要である。

【0089】実施例6

図13は実施例6の面発光レーザアレイを用いた多波長光源システムの具体的な構成例を示す図である。図13の多波長光源システムでは、第1、第2、第3または第5の実施形態の面発光レーザ素子、または、第4または第6の実施形態の面発光レーザシステムが用いられており（複数の（ n 個の）面発光レーザ素子がアレイ状に配置された面発光レーザアレイ（多波長アレイ）42が多波長光源として用いられており）、多重量子井戸構造への印加電圧を制御するためのバイアス制御回路43によって、アレイ42内の n 個の面発光レーザ素子毎に異なる発振波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ が得られるように制御されている。なお、アレイの形状は1次元以外にも2次元配列とすることもできる。

【0090】この際、面発光レーザ素子毎に発振波長の設定を行うバイアス電圧の制御元となる信号は、発振光を直接モニタしたものであっても良いし、または、実施例5のよう予め素子毎に調整されたデータを用いるものであっても良い。

【0091】実施例6の面発光レーザアレイ（多波長アレイ）42は、面発光レーザ素子毎に発振波長変化させることができるので、応用範囲が広く、また、各面発光レーザ素子に第1、第2、第3または第5の実施形態の面発光レーザ素子を用いたことで、波長の可変幅も広い。

【0092】実施例7

図14は実施例7の光インターコネクションシステムの構成例を示す図である。図14の光インターコネクションシステムは、チップ1とチップ2との間で光ファイバを介して光信号の送受信を行うように構成されている。ここで、チップ1、チップ2には、図13に示したような面発光レーザアレイ光源が用いられる（第1、第2、第3または第5の実施形態の面発光レーザ素子、または、第4または第6の実施形態の面発光レーザシステム

が用いられる）。すなわち、チップ1には、面発光レーザアレイ42-1と、バイアス制御回路43-1と、合波・分波手段44-1と、PD等の受光手段45-1とが設けられている。同様に、チップ2には、面発光レーザアレイ42-2と、バイアス制御回路43-2と、合波・分波手段44-2と、PD等の受光手段45-2とが設けられている。

【0093】図14の光インターコネクションシステムでは、面発光レーザ素子毎に違った発振波長に制御された面発光レーザアレイ（多波長アレイ）42-1、42-2を用いており、送信側では、例えば光カプラー等の合波手段44-1または44-2によって、一本の光ファイバに異なる波長の光を導き、受信側ではグレーティング等の分波手段44-2または44-1によって波長毎に光を分波した後、PD等の受光手段45-2または45-1によって信号受信が行われる。

【0094】図14の光インターコネクションシステムでは、バイアス制御回路43-1、43-2は、発振光の波長を直接検出することによって、面発光レーザ素子の多重量子井戸構造に印加する電圧の制御を行っている。この他にも、前述のように、予め記憶された情報に従って波長調整を行うシステム構成とすることもできる。

【0095】また、図14の光インターコネクションシステムでは、第1、第2、第3または第5の実施形態の面発光レーザ素子、または、第4または第6の実施形態の面発光レーザシステムを用いたことによって、微小な波長間隔で広い波長可変幅を用いることができることから、従来に比べ大量の情報伝送を高速に行うことが可能となる。

【0096】実施例8

図15は実施例8のローカルエリアネットワーク（LAN）システムの構成例を示す図である。図15のLANシステムは、端末とサーバーとの間をイーサネット（登録商標）等のプロトコルによって光ケーブルによって接続して構成されている。例えば、各端末はフロア毎にスイッチに接続され、次にコアスイッチを介してサーバーに接続されている。第1、第2、第3または第5の実施形態の面発光レーザ素子、または、第4または第6の実施形態の面発光レーザシステムは、発振波長を連続的に変化させることができるので、所望の波長を容易に得ることが可能であり、また波長の可変幅が広いので、用いることのできる波長帯域も広い。従って従来に比べ大量の情報伝送を高速に行うことが可能となる。

【0097】

【発明の効果】以上に説明したように、請求項1記載の発明によれば、電界印加によって屈折率変化を生じさせる多重量子井戸構造部の井戸層にGaInNAs混晶が用いられるので、電界印加時の多重量子井戸構造部の井戸層からの電子のリークを抑制し、高電界下にわたって大

きな屈折率変化を得ることの可能な面発光レーザ素子を提供することができる。

【0098】すなわち、波長 $1\sim 1.3\mu\text{m}$ 帯の面発光レーザにおいて多重量子井戸構造からなる屈折率変調領域を作製しようとした場合、従来のIII-V族混晶半導体材料では、例えばInGaAs等が井戸層の材料に挙げられる。しかし、GaInNAs混晶を多重量子井戸構造の井戸層として用いると、窒素添加によるバンドギャップボーイングによって主に伝導帯エネルギーが大きく減少しており、同じ禁則幅のInGaAs材料と比較した場合、伝導帯側に深いポテンシャル井戸を作ることができる。従って、特に電界印加時に井戸層からリークし易い電子に対して、強い閉じ込め効果が得られ、励起子が解離しにくく、従来よりも強い電界印加下にわたって大きな屈折率変化を得ることができる。これによって、従来と比べ広い波長可変幅を持った波長可変面発光レーザ素子を得ることができる。

【0099】また、GaInNAs混晶は、窒素を添加する事で格子定数が減少しており、同じ禁則幅のInGaAs混晶と比較して基板との格子不整合度を小さくすることができる。波長可変面発光レーザ素子では、屈折率変調を行う為の多重量子井戸構造は十ペア程度以上必要であり、更に多重量子井戸構造上に数 μm 厚のDBRの結晶成長を行う必要がある。多重量子井戸構造の格子不整合度が大きい場合は、多重量子井戸構造及びDBR層の結晶成長時に、転移等の結晶欠陥を生じ素子特性を劣化させてしまう。このように厚い反射鏡を必要とする面発光レーザ素子では、多重量子井戸構造の格子歪みを低減することが非常に重要である。

【0100】請求項1記載の発明のように多量子井戸構造部の井戸層をGaInNAs混晶とすると、多重量子井戸部の格子不整合度を非常に小さくでき、多重量子井戸構造部、及び数 μm 厚のDBRを結晶性良く成長することができる。これによって、特性の良好な素子を得ることができる。

【0101】また、請求項2記載の発明によれば、電界印加によって屈折率変化を生じさせる多重量子井戸構造の井戸層を組成の異なるGaInNAs層で形成し、スタガード型接合となるようにしているので、低電界の印加時での屈折率変化率が大きく、従来よりも低いバイアス電圧で大きな屈折率変化を得ることができ、これによって動作電圧が低減された波長可変面発光レーザ素子が得られる。

【0102】また、請求項3記載の発明によれば、請求項1または請求項2に記載の面発光レーザ素子において、多重量子井戸構造の障壁層には、II-VI族半導体材料が用いられるので、キャリアの閉じ込めが非常に強く、高電界印加下においても井戸からのキャリア（例えば電子）のリークを効果的に抑制でき、これによって、高電界印加下にわたって大きな屈折率変化量が得られ、

波長可変量の大きな面発光レーザ素子が得られる。

【0103】また、請求項4記載の発明によれば、請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子において、前記活性層には、GaInNAs半導体材料が用いられるので、GaAs基板上に、 $1.3\mu\text{m}$ 帯、 $1.55\mu\text{m}$ 帯や、これよりも更に長波長など、 $0.9\mu\text{m}$ よりも長波長帯の面発光レーザ素子を得ることができる。また、GaAs基板上では高品質なAlGaAs/AlAsDBRや、AlAsの選択酸化による電流狭窄構造を用いる事ができるので、優れた素子特性が得られる。また、GaInNAs混晶では、伝導帯でのバンド不連続量が大きくキャリアのオーバーフローが効果的に抑制される。従って、発振無効電流が減少し低閾値化とともに、素子温度の上昇が抑制される。例えば、文献「第47回応用物理学関係連合講演会予稿集31a-N-10」では、 $1.3\mu\text{m}$ 帯の端面型レーザにおいて発振波長の微分温度変化率が 0.39nm/K 、禁則帯幅の温度変化率が 0.42nm/K と従来のInGaAsP材料に比べて半分程度の値であることが報告されている。従って、GaInNAs混晶を活性層にも用いた場合、発振波長の変動を最小限に留めることが可能となる。これによって、素子の駆動状態、動作環境温度等の変化に対する多重量子井戸構造のバイアス電圧制御が簡単になる。

【0104】また、請求項5記載の発明によれば、請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子において、前記活性層には、GaInNAsまたはGaInAs半導体材料からなる量子ドット構造が用いられるので、GaAs基板上において、 $1.2\mu\text{m}$ 帯から $1.55\mu\text{m}$ 帯の発振波長を得ることができ、優れた素子特性を得ることができる。また、量子ドット構造では、量子サイズ効果により、さらに発振閾値電流を低減することが可能となり、素子発熱の低減によって、素子の波長可変幅、効率の低下を抑制することできる。

【0105】また、請求項6記載の発明によれば、活性層と該活性層を挟んで対向する一対の分布ブラッグ反射器との間に多重量子井戸構造部を備え、活性層に電流を注入するための第1の電極と多重量子井戸構造部に電界を印加するための第2の電極とがそれぞれ独立に設けられ、第2の電極により多重量子井戸構造部に電界を印加することによって多重量子井戸構造部の屈折率を変化させ発振波長を可変とする面発光レーザ素子と、前記面発光レーザ素子の発振波長を検出する発振波長検出手段とを有しており、発振波長検出手段によって、素子の発振波長が検出され、素子の動作、発振状況に応じて適切に多重量子井戸構造のバイアス電流を調整することができ、所望の発振波長が得られるとともに、発振波長の安定性が向上する。

【0106】また、請求項7記載の発明によれば、請求項6記載の面発光レーザシステムにおいて、前記発振波

長検出手段によって検出される発振波長が所望の発振波長となるように、面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部への印加電圧を調整する電圧調整手段がさらに設けられているので、素子の発振波長が所望の発振波長となるように、発振波長を自動調節することができる。

【0107】また、請求項8記載の発明によれば、活性層と該活性層を挟んで対向する一対の分布ブラッグ反射器との間に多重量子井戸構造部を備え、活性層に電流を注入するための第1の電極と多重量子井戸構造部に電界を印加するための第2の電極とがそれぞれ独立に設けられ、第2の電極により多重量子井戸構造部に電界を印加することによって多重量子井戸構造部の屈折率を変化させ発振波長を可変とする面発光レーザ素子本体と、該面発光レーザ素子本体の光出射面とは反対の側の共振器外部に設けられ、該面発光レーザ素子本体の光出射面から入射し面発光レーザ素子本体を透過した発振波長付近の光を検出する光検出手段とを有しているため、レーザ発振時の素子本体の光出力、あるいは、光出射面から光を入射した際の素子の透過特性等が検出でき、APC制御や、素子の共振波長等の光学特性を調べることが可能となる。

【0108】また、請求項9記載の発明によれば、請求項8記載の面発光レーザ素子と、前記面発光レーザ素子の光出射面に、波長を掃引して単色光を入射させる光入射手段と、前記面発光レーザ素子の光出射面に光入射手段によって波長を掃引して単色光が入射され面発光レーザ素子を透過した発振波長付近の光が面発光レーザ素子の光検出手段で検出されるとき、光検出手段で検出された光の光量を検知する光量検知手段と、面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部に電圧を印加する電圧印加手段と、前記光量検知手段で検知された光の光量が最大となったときに、そのときの単色光の波長と面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部への印加電圧との関係を記憶する記憶手段とを有しているため、所望の発振波長に対応した印加電圧を割り出し、この印加電圧を面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部に印加することにより、レーザ素子を所望の発振波長で発振させることができる。

【0109】また、請求項10記載の発明によれば、請求項9記載の面発光レーザシステムにおいて、面発光レーザ素子を所望の共振波長で発振させるときに、前記電圧印加手段は、記憶手段に記憶されている単色光の波長と面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部への印加電圧との関係に基づき、所望の共振波長に対応する面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部への印加電圧を記憶手段から割り出して面発光レーザ素子の多重量子井戸構造部に印加するようになっているので、素子の発振波長が所望の発振波長となるように、発振波長を自動調節することができる。

【0110】また、請求項11記載の発明によれば、請求項8記載の面発光レーザ素子の共振波長を調整する波

長調整方法であって、面発光レーザ素子本体の多重量子井戸構造部に印加電圧を印加している状態で、面発光レーザ素子本体の光出射面から波長を連続的に変化させた単色光を入射させ、面発光レーザ素子本体を透過した単色光の光量を検出することによって面発光レーザ素子本体の共振器の共振波長を検知し、このときに多重量子井戸構造部に印加されている印加電圧と検知された共振波長との関係を導出し、導出した印加電圧と共振波長との関係に基づき、印加電圧を調整して共振波長を調整するので、素子の発振波長が所望の発振波長となるように、発振波長を自動調節することができる。

【0111】また、請求項12記載の発明によれば、請求項1乃至請求項5、請求項8のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子が複数個、アレイ状に配列されている面発光レーザアレイであるので、素子毎に連続的に波長調整が行え、また波長可変幅の広い、波長多重通信に最適な2次元集積可能な波長可変面発光レーザアレイを得ることができる。

【0112】請求項13記載の発明によれば、請求項1乃至請求項5、請求項8のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子、または、請求項6、請求項7、請求項9、請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザシステム、または、請求項12記載の面発光レーザアレイを用いて光インターコネクションシステムを構成するので、波長帯域幅の広いWDMを用いた光インターコネクションシステムが容易に得られ、大量のデータを高速に伝送することができる。また、請求項13のシステムでは、微小な波長間隔で波長を制御することが可能である。

【0113】また、請求項14記載の発明によれば、請求項1乃至請求項5、請求項8のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子、または、請求項6、請求項7、請求項9、請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザシステム、または、請求項12記載の面発光レーザアレイを用いてLANシステムを構成するので、使用することのできる波長帯域幅が広いWDMを用いた光LANシステムが容易に得られ、大量のデータを高速に伝送することができる。10Gbps以降のファーストギガビットイーサネットでは、4波長を用いたWDMシステムが用いられており、今後ネットワークの高速化に伴い波長多重数は更に増加するものと考えられる。また、請求項14のシステムでは、微小な波長間隔で波長を制御することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の面発光レーザ素子の一例を示す図である。

【図2】スタガード型バンド構造を示す図である。

【図3】本発明に係る面発光レーザシステムの構成例を示す図である。

【図4】本発明に係る面発光レーザシステムの他の構成例を示す図である。

【図5】本発明に係る面発光レーザ素子の構成例を示す図である。

【図6】本発明に係る面発光レーザシステムの他の構成例を示す図である。

【図7】本発明に係る面発光レーザシステムの他の構成例を示す図である。

【図8】実施例1の面発光レーザ素子の具体的な構成例を示す図である。

【図9】実施例2の面発光レーザ素子の具体的な構成例を示す図である。

【図10】実施例3の面発光レーザ素子の具体的な構成例を示す図である。

【図11】実施例4の面発光レーザシステムの具体的な構成例を示す図である。

【図12】実施例5の面発光レーザ素子の具体的な構成例を示す図である。

【図13】実施例6の面発光レーザアレイを用いた多波長光源システムの具体的な構成例を示す図である。

【図14】実施例7の光インターコネクションシステムの構成例を示す図である。

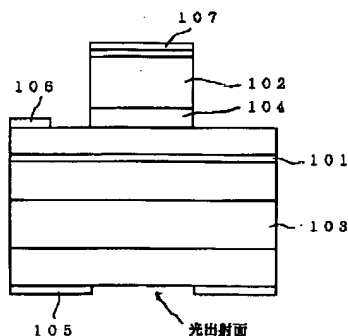
【図15】実施例8のLANシステムの構成例を示す図である。

【符号の説明】

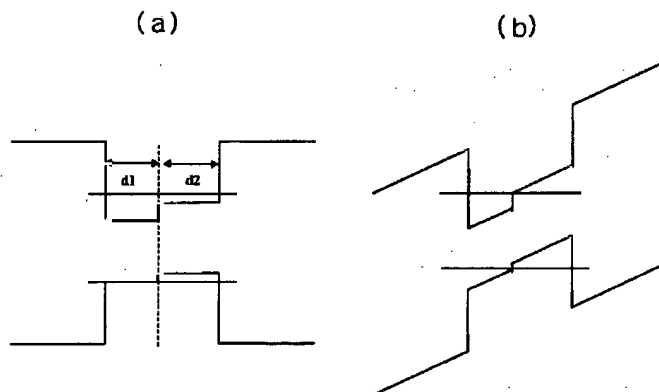
101 活性層
102, 103 分布ブラッグ反射器
104 多重量子井戸構造部
105, 106, 107 電極
110 面発光レーザ素子
120 発振波長検出手段

130 電圧調整手段
140 光入射手段
141 光量検知手段
142 電圧印加手段
143 記憶手段
1, 26, 21, 19 n電極
2, 22 n-GaAs基板
3, 23 n-DBR (分布ブラッグ反射器)
5, 28 GaInNAs/GaAsMQW活性層
4, 6, 27, 29 アンダープGaAsスペーサー層
7, 30 p-AlAs層
8, 31 選択酸化領域
9, 13, 25, 33 p-GaAsコンタクト層
11, 24 多重量子井戸構造部
12, 32 アンダープDBR
10, 14, 34 p電極
15 絶縁膜
16 導電性樹脂
17 pinダイオード18 n-GaAsコンタクト層
42 面発光レーザアレイ
43 バイアス制御回路
44-1, 44-2 合波・分波手段
45-1, 45-2 受光手段

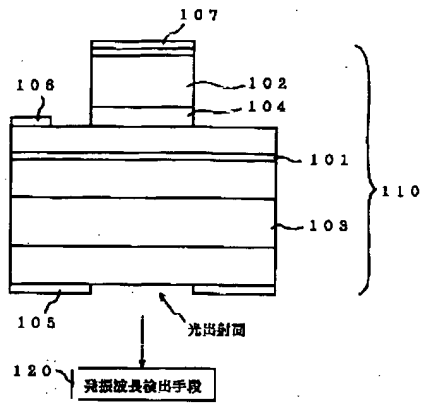
【図1】



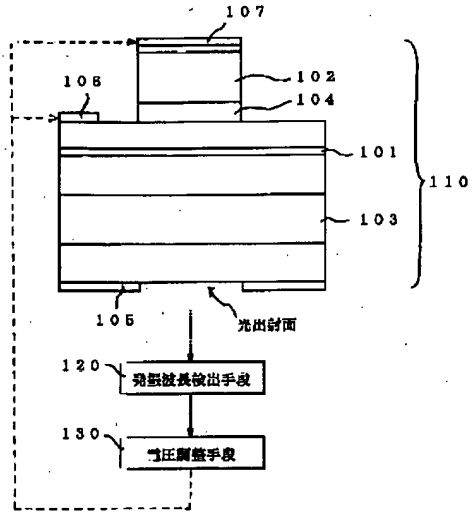
【図2】



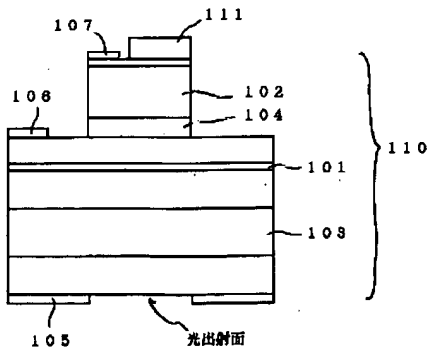
【図3】



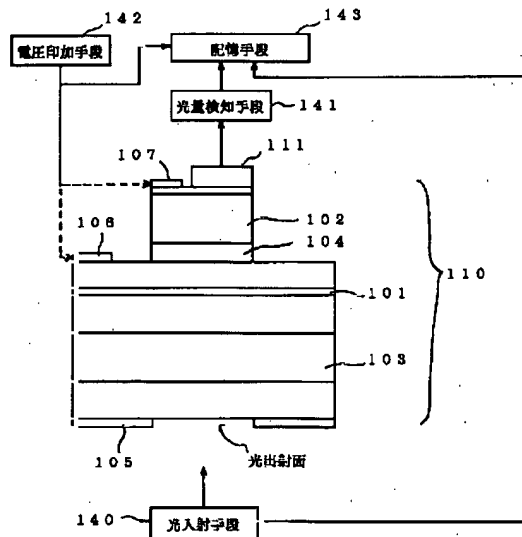
【図4】



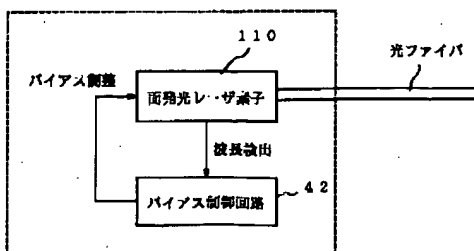
【図5】



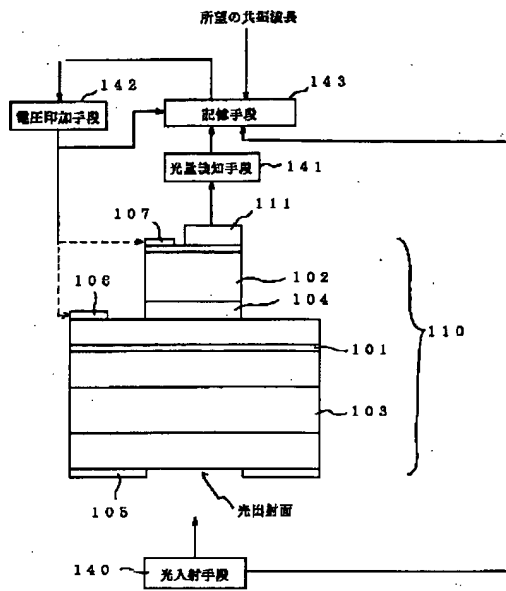
【図6】



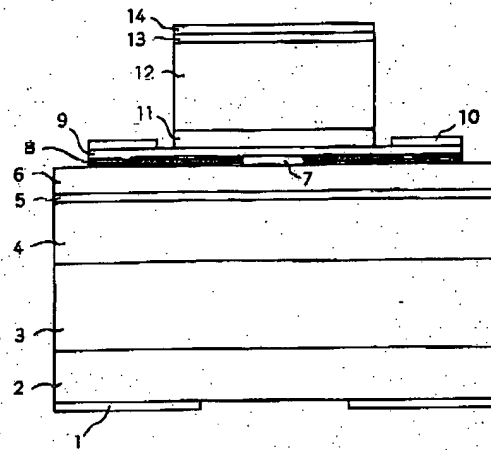
【図11】



【図7】

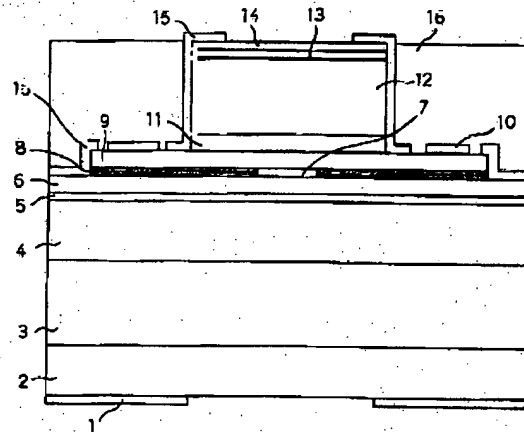
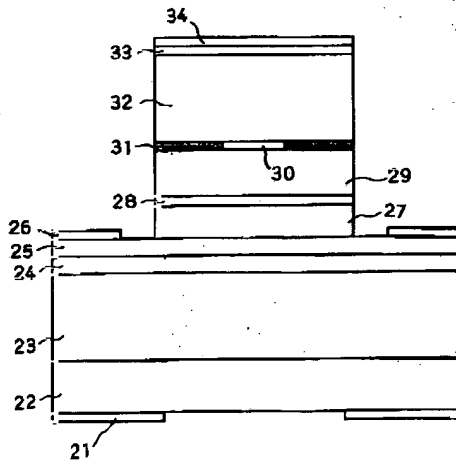


【図8】



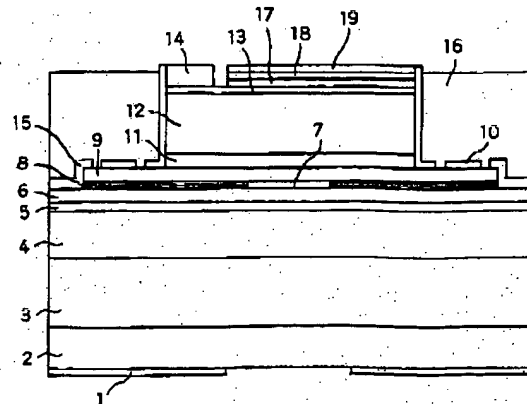
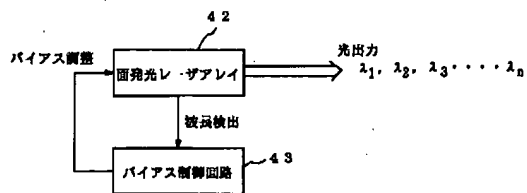
【図10】

【図9】

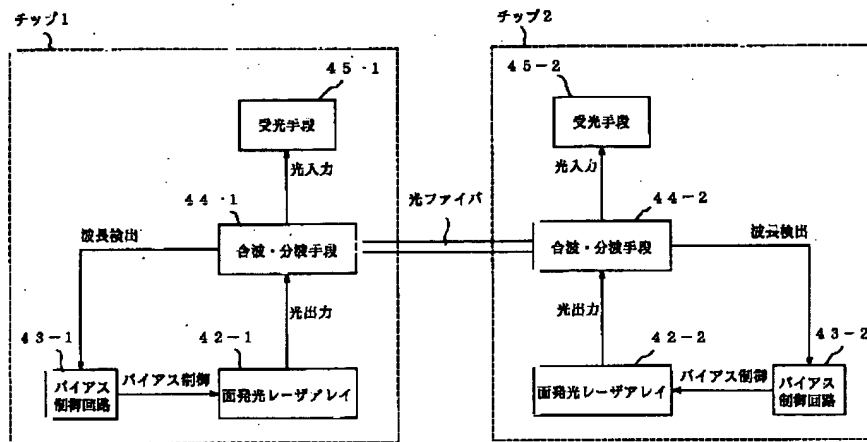


【図12】

【図13】



【図14】



【図15】

